

ANALYTICKÁ ZAŘÍZENÍ NA PAPIROVÉ MATRICI VE SVĚTLE SPOLUPRÁCE UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE A NÁRODNÍ A KAPODISTRIJSKÉ UNIVERZITY V ATHÉNÁCH

Článek je věnován významnému životnímu jubileu profesora Jiřího Zimy.

JIŘÍ BAREK

Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra analytické chemie, UNESCO laboratoř elektrochemie životního prostředí, Albertov 6, 128 00 Praha 2, Česká republika
barek@natur.cuni.cz

Došlo 5.1.26, přijato 12.2.26.

Tento článek stručně charakterizuje možnosti a omezení tzv. μ PADs (microfluidic paper-based analytical devices, mikrofluidní analytická zařízení na papírové matrici) a byl inspirován vynikající přednáškou prof. Anastasia Economou z Laboratoře analytické chemie Chemického ústavu v názvu zmíněné nejstarší řecké univerzity (LAC NKUA, Laboratory of Analytical Chemistry, Department of Chemistry, National and Kapodistrian University of Athens) na Katedře analytické chemie na PřF UK v Praze v rámci dlouhodobé spolupráce athénské laboratoře s UNESCO laboratoří elektrochemie životního prostředí na PřF UK (ULEEC, UNESCO Laboratory of Environmental Electrochemistry). Z této spolupráce díky podpoře programu Erasmus+ vzniklo již 15 výstupů registrovaných ve WOS s více než 200 citacemi. Po krátkém historickém úvodu je pozornost zaměřena na perspektivy dalšího vývoje moderní elektroanalytické chemie v této oblasti s důrazem na možnosti dalšího rozvoje mimořádně užitečné a příjemné spolupráce mezi nejstarší českou a nejstarší řeckou univerzitou v oblasti elektroanalytické chemie jak z hlediska vědecko-výzkumného, tak i z hlediska výchovně-vzdělávacího.

Klíčová slova: mikrofluidní analytická zařízení na papírové matrici, elektroanalytická chemie, voltametrie biologicky aktivních látek, nové elektrodové materiály a uspořádání

Obsah

1. Úvod
2. Spolupráce v oblasti nových elektrodových materiálů a uspořádání
3. Možnosti a omezení μ PADs v (bio)chemické analýze
4. Závěr

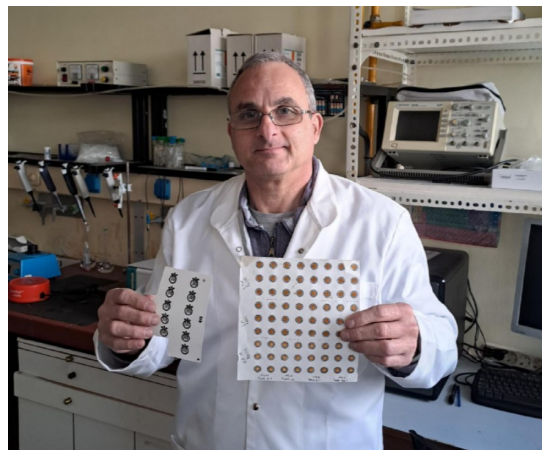
1. Úvod

Spolupráce mezi českou a řeckou laboratoří (ULEEC PřF UK a LAC NKUA) v oblasti analytické chemie započala před více než 15 lety (někdy kolem roku 2010) a tyto počátky jsou nerozlučně spjaty se jménem prof. Karla Štulíka¹ a prof. Miltiadise Karayanise², kteří byli v té době mimořádně aktivními členy Divize analytické chemie Evropské chemické společnosti (DAC EuChemS)³ a v jejím rámci velmi úspěšně katalyzovali spolupráci mezi českými a řeckými elektroanalytickými chemiky a brzy do ní zapojili i autora tohoto článku a prof. Zimu⁴, nyní rektora UK

(viz obr. 1), který již v té době patřil k nejaktivnějším pracovníkům ULEEC. V rámci této začínající spolupráce byly brzy navázány velmi dobré (a to nejen z odborného hlediska) kontakty s prof. Anastasem Economou⁵. A byly to mimořádně kvalitní odborné i lidské vlastnosti prof. Zimy i prof. Economou, které vedly k úspěšné dlouhodobé spolupráci nesoucí své příjemné plody až do dnešní doby. To dokazuje prestižní přednáška prof. Economou na Katedře analytické chemie PřF UK uspořádaná pod záštitou DAC EuChemS, jejíž prezentaci si můžete prohlédnout na [www stránkách této katedry](http://www.stránkách této katedry)⁶ či [www stránkách Odborné skupiny analytické chemie České společnosti chemické](http://www.stránkách Odborné skupiny analytické chemie České společnosti chemické)⁷. Prof. Economou (viz obr. 2) je profesorem analytické chemie a chemické instrumentace v LAC NKUA, je autorem více než 180 publikací s více než 10 000 citacemi a jeho h-index je 59. Dosud byl školitelem 15 doktorandů a více než 30 studentů magisterského studia. V počátcích vzájemné spolupráce byly obě laboratoře zaměřeny na vývoj nových elektrodových materiálů a uspořádání, což byl v té době jeden z hlavních směrů vývoje moderních elektroanalytických metod v oblasti



Obr. 1. Prezident České republiky Petr Pavel (vpravo) předává prof. Jiřímu Zimovi (vlevo) jmenovací dekret rektora Univerzity Karlovy



Obr. 2. Prof. Anastasios Economou ve své laboratoři

sledování biologicky aktivních látek (viz kapitola 2). Tato aktivita se úspěšně projevila i ve spolupráci obou pracovišť v rámci Pracovní skupiny elektroanalytické chemie DAC EuChemS⁸, kde obě laboratoře úspěšně spolupracovaly např. při organizaci mezinárodního semináře věnovaného analytické chemii nanočástic⁹.

2. Spolupráce v oblasti nových elektrodoých materiálů a uspořádání

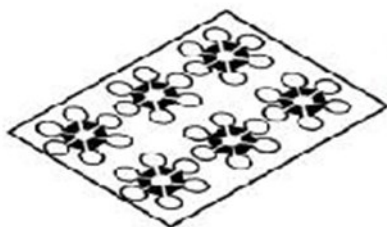
Spolupráce v této oblasti se v souladu s moderními trendy popsanými v práci¹⁰ zaměřila na hledání nových elektrodoých materiálů s co největším potenciálovým rozsahem, nízkým šumem, odolným vůči pasivaci, s příznivými mechanickými vlastnostmi umožňujícími jejich použití v průtokových systémech, uživatelsky přívětivých a kompatibilních s principy zelené i bílé analytické chemie a se základními principy udržitelnosti. Dále jsou uvedeny příklady úspěšných společných prací v této oblasti, ve většině případů vypracovaných studenty při vzájemných výměnách v rámci programu Erasmus+. To je třeba zvláště zdůraznit v době, kdy někteří kolegové zastávají stanovisko, že vysoké školy by se neměly zdržovat péčí o studenty a hlavně publikovat v časopisech s vysokým impaktním faktorem. Následující příklady dokumentují, že při správném přístupu k pedagogické práci na vysoké škole lze naopak díky studentům publikovat ve špičkových elektroanalytických časopisech, a tím spojit vědeckou a pedagogickou práci opravdu kvalitních zaměstnanců vysokých škol. Zde je namístě zdůraznit, že velkou roli v zapojení studentů do těchto aktivit sehrál prof. Zima, jehož zaujetí pro elektroanalytickou chemii, schopnost jednat s lidmi a mimořádné organizační schopnosti příkladným způsobem inspirovaly zapojené studenty (české i řecké) a jejich nadprůměrnou pracovní aktivitu. Jako

příklad lze uvést práci v té době studentky Dany Deýlové o využití bismutové filmové elektrody na substrátu stříbrného amalgámu jako nového senzoru pro voltametrické stanovení elektrochemicky redukovatelných organických látek¹¹. Tato práce úspěšně spojovala znalosti českých spoluautorů v oblasti amalgámových elektrod a znalosti prof. Economou v oblasti elektrod bismutových. V podstatě totéž platí o společné práci zaměřené na využití síťotiskových elektrod modifikovaných bismutovým filmem pro rychlé voltametrické stanovení ekotoxických nitrofenolů¹². Významný pokrok v této oblasti představoval i nový typ velkoplošné bismutové elektrody použitý pro voltametrické stanovení genotoxického 5-nitrobenzimidazolu¹³. Společné zaměření obou laboratoří na voltametrické sledování nádorových biomarkerů dokumentuje práce¹⁴ využívající síťotiskové uhlíkové elektrody ke stanovení biomarkerů neuroblastomu. Postupný důraz na využití elektrochemických metod v průtokových systémech reprezentuje společná práce¹⁵ věnovaná současnému stanovení biologicky aktivních antioxidantů (*terc*-butylhydrochinonu, propylgalátu a butylhydroxyanisolu) pomocí průtokové injekční analýzy spojené s multipulzní ampérometrickou detekcí (FIA-MPAD) na pracovní elektrodě ze skelného uhlíku. Podobně je orientovaná i práce¹⁶ věnovaná využití FIA-MPAD k současnému stanovení dalších antioxidantů (tyrasolu a sinapové kyseliny). Další práce¹⁷ vzniklá díky výměnným pobytům studentů v rámci programu Erasmus+ popisuje stanovení vybraných biologicky aktivních nitrofenolů pomocí diferenční pulzní voltametrie (DPV) na novém typu porézní stříbrné pracovní elektrody připravené technikou práškové metalurgie. Skutečnost, že na všech výše uvedených publikacích se rozhodující měrou podílejí studenti, jednoznačně dokazuje, že lze sladit pedagogickou a vědecko-výzkumnou práci (zvláště máteleli to štěstí, že ve vaší laboratoři pracují lidé kvalit prof. Zimy).

3. Možnosti a omezení μ PADs v (bio)chemické analýze

Z výše zmíněné přednášky prof. Economou na PŘF UK je patrné, že se jeho laboratoř v poslední době výrazně orientuje na využití mikrofluidních analytických zařízení na papírové matici (μ PADs) v analýze biologicky aktivních látek. Neustále rostoucí potřeba analytických metod použitelných pro analýzu přímo na sledovaném místě v případě environmentální analýzy či třeba přímo u lůžka sledovaného pacienta (POC, point-of-care) vedla ke vzniku řady moderních analytických technik typu laboratoře na čipu (LOC, lab-on-chip)¹⁸, laboratoře na tištěných elektronických obvodech (LPCB, lab on printed circuit boards)¹⁹ či miniaturizovaných systémů úplné analýzy (μ TAS, micro total analysis systems)²⁰ spojující základní kroky analýzy (odběr vzorku, jeho předúpravu, separaci analytu a jeho detekci) při práci s minimálním množstvím vzorku. Nejmodernějším trendům v této oblasti se věnuje Technická zpráva projektu IUPAC zaměřeného na využití průtokových analytických systémů a mikrosystémů s elektrochemickou detekcí pro monitorování biologicky aktivních látek²¹ a řada detailů je popsána ve vynikajících přehledných referátech^{22,23}. Podrobná diskuse této fascinující problematiky přesahuje rámec tohoto článku, a proto bude v následujícím textu pozornost soustředěna na přínos prof. Economou v této oblasti, jak byl prezentován na výše zmíněném semináři na PŘF UK v Praze⁶.

Na naše společné starší studie voltametrických metod stanovení vybraných antioxidantů navazuje zajímavá práce²⁴ zaměřená na rychlé mnohonásobné stanovení antioxidantů ve víně (celkové fenoly, kapacita antioxidantů, flavonoidy a anthokyany) pomocí PAD „ve tvaru sedmikrásky“ (viz obr. 3). Z hlediska praktického využití je velmi zajímavá možnost jednoduché, rychlé a levné přípravy elektrochemických PADs (ePADs) jako biosenzorů glukosy pomocí běžně dostupného komerčního psacího vybavení²⁵. Přístup PADs byl využit i při vývoji nové metody stanovení karcinoembryonického antigenu pomocí kombinace fluorescenční a elektrochemické detekce ve spojení s imunosorbentem spojeným s Cd kvantovými tečkami²⁶. Intenzita fluorescence byla v tomto případě sledována kamerou v mobilním telefonu a k elektrochemické detekci uvolněných iontů Cd byla použita ano-



Obr. 3. Soustava PAD ve tvaru sedmikrásky používaná v laboratoři prof. Economou

dická rozpouštěcí voltametrie pomocí přenosného potenciostatu PalmSens. Stejný analyt byl sledován i pomocí přístupů PADs využívajícího imunosorbentu spojeného s enzymem anebo se zlatými nanočásticemi. V obou případech vzniká barevný produkt, který byl sledován komerčním skenerem HP DeskJet 2720 (cit.²⁷). Na kolorimetrickém principu s využitím skeneru pracuje i imunochromatografické zařízení využívající boční proudění (LFIA, lateral flow immunoassay)²⁸. LFIA využívající biosenzor na bázi aptameru specifického pro ochratoxin A byla využita ke stanovení tohoto analytu opět využívajícího skeneru ve vzorcích potravin²⁹. Konečně, abychom věnovali pozornost i vzorku blízkému českému čtenáři, můžeme zmínit práci věnovanou simultánnímu stanovení tří nebezpečných mykotoxinů (aflatoxin B1, fumonisin a deoxynivalenol) pomocí integrovaného monolitického optoelektronického biosenzoru ve vzorcích piva³⁰. Na závěr této části bych rád doporučil českému čtenáři kvalitní diplomovou práci Tomáše Rýpara³¹, vypracovanou v roce 2020 na Ústavu biochemie PŘF MU v Brně pod vedením Markéty Vaculovičové, zaměřenou na využití „paperfluidiky“ v diagnostice. Za zmínku dále stojí, že PADs umožňují plnou integraci procesu odběru vzorku a jeho potřebného naředění³² a z hlediska českého uživatele je velmi atraktivní možnost „udělej si sám“ (do it yourself) sitotiskové přípravy PADs (cit.³³).

4. Závěr

Autor tohoto příspěvku je přesvědčen, že spolupráce s řeckými elektroanalytickými chemiky bude úspěšně pokračovat i v následujícím období a že tuto spolupráci vezmou za své i nastupující mladší kolegové na naší katedře už vzhledem ke skutečnosti, že řada z nich strávila na partnerském pracovišti v Athénách užitečně a nepochybně i příjemně chvíle dané příjennými lidskými vlastnostmi prof. Economou. Kvalita jeho pedagogické, odborné i vědecko-výzkumné práce je zárukou, že návštěva jeho laboratoře je do budoucna velmi dobrou investicí nejen vzhledem k formálnímu požadavku na nastupující kolegy, aby strávili nějaký čas na kvalitním zahraničním pracovišti, ale vzhledem ke skutečnému přínosu této spolupráce k jejich dalšímu odbornému profesionálnímu růstu v zájmu naší katedry i celé české elektroanalytické chemie, která si to vzhledem ke své mezinárodně uznávané tradici nepochybně zaslouží.

Je autorovou příjemnou povinností poděkovat všem kolegům z PŘF UK, kteří přispěli k rozvoji této užitečné spolupráce, jmenovitě prof. RNDr. Jiřímu Zimovi, CSc., prof. RNDr. Vlastimilu Vyskočilovi, Ph.D., prof. RNDr. Zuzaně Bosákové, CSc., a doc. RNDr. Karlu Nesměrákovi, Ph.D., a Mgr. Pavle Pouskové (vedoucí zahraničního oddělení PŘF UK). Rád bych také poděkoval firmě Metrohm CZ (https://www.metrohm.com/cs_cz.html) za účinnou intelektuální, materiální a morální podporu všech výše popsaných aktivit.

LITERATURA

- Barek J., Wang J.: *Electroanalysis* 25, 1577 (2013). <https://www.doi.org/10.1002/elan.201380771>.
- <https://www.researchgate.net/profile/Miltiadis-Karayannis>, staženo 24. 2. 2026.
- <https://www.euchems.eu/divisions/analytical-chemistry/>, staženo 24. 2. 2026.
- <https://cuni.cz/UKEN-379.html?news=28358&locale=en>, staženo 24. 2. 2026.
- http://scholar.uoa.gr/sites/default/files/aeconomou/files/economou_cv_pms.pdf, staženo 24. 2. 2026.
- <https://natur.cuni.cz/chemie/katedry-a-pracoviste/katedra-analyticke-chemie/o-katedre/aktuality/9883-presentation-from-the-lecture-of-prof-dr-anastasios-economou-on-6-january-2026>, staženo 24. 2. 2026.
- https://osanal.csch.cz/wp-content/uploads/2026/01/presentation_oa.pdf, staženo 24. 2. 2026.
- <https://www.euchems.eu/divisions/analytical-chemistry/governance/>, staženo 24. 2. 2026.
- <https://osanal.csch.cz/wp-content/uploads/2023/03/Program.pdf>, staženo 24. 2. 2026.
- Barek J., Šmejkal P.: *J. Solid. State Electrochem.* 28, 643 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10008-023-05693-6>.
- Deýlová D., Vyskočil V., Barek J., Economou A.: *Talanta* 102, 68 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.07.044>.
- Lezi N., Economou A., Barek J., Prodromidi M.: *Electroanalysis* 26, 766 (2014). <https://doi.org/10.1002/elan.201400001>.
- Deýlová D., Vyskočil V., Economou A., Manfeldová V., Barek J.: *Int. J. Electrochem. Sci.* 9, 4653 (2014). [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)08122-1](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)08122-1).
- Makrlíková A., Ktena E., Economou A. Fischer J., Navrátil T., Barek J. Vyskočil V.: *Electroanalysis* 29, 146 (2017). <https://doi.org/10.1002/elan.201600534>.
- Bavol D., Economou A., Zima J., Barek H., Dejmko-va H.: *Talanta* 178, 231 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.09.032>.
- Bavol D., Economou A., Zima J., Barek J., Dejmko-va H.: *Monatsh. Chem.* 149, 1679 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00706-018-2189-8>.
- Bountas G., Vyskočil V., Kratochvíl B., Michalcova A., Economou A., Barek J.: *Electroanalysis* 35, e202200437 (2023). <https://doi.org/10.1002/elan.202200437>.
- Moschou D., Tserepi A.: *Lab Chip* 17, 1388 (2017). <https://doi.org/10.1039/C7LC00121E>.
- Tseng H.-Y., Lizama J. H., Alvarado N. A. S., Hou H.-H.: *Biomicrofluidics* 16, 031302 (2022). <https://doi.org/10.1063/5.0091228>.
- Reyes D. R., Iossifidis D., Auroux P.-A., Manz A.: *Anal. Chem.* 74, 2623 (2002). <https://doi.org/10.1021/ac0202435>.
- Labuda J. a 10 spoluautorů: *Pure Appl. Chem.*, v tisku. <https://doi.org/10.1515/pac-2025-0514>.
- Cetinkaya A., Kaya S. I., Ozkan S. A.: *Anal. Chim. Acta* 1357, 344080 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.aca.2025.344080>.
- Isa A., Gharibi M., Cetinkaya A., Ozkan S. A.: *Microchem. J.* 212, 113210 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113210>.
- Diela A., Pagkali V., Kokkinos C., Calokerinos A., Economou A.: *Talanta* 277, 126425 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.126425>.
- Pagkali V., Soulis D., Kokkinos C., Economou A.: *Sens. Actuators, B* 358, 131546 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.snb.2022.131546>.
- Mermiga E., Pagkali V., Kokkinos C., Economou A.: *Electrochim. Acta* 530, 146393 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2025.146393>.
- Mermiga E., Pagkali V., Soulis D., Kokkinos C., Economou A.: *Analysis Sensing* 5, e202400113 (2025). <https://doi.org/10.1002/anse.202400113>.
- Tsogka I., Mermiga E., Pagkali V., Kokkinos C., Economou A.: *Anal. Methods* 16, 2921 (2024). <https://doi.org/10.1039/d4ay00381k>.
- Mermiga E., Pagkali V., Kokkinos C., Economou A.: *Molecules* 28, 8135 (2023). <https://doi.org/10.3390/molecules28248135>.
- Pagkali V. a 12 spoluautorů: *J. Hazard. Mater.* 359, 445 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.080>.
- Rýpar T.: *Využití paperfluidiky v diagnostice. Diplomová práce.* Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Ústav biochemie, Brno 2020.
- Amor-Gutiérrez O., Costa-Rama E., Fernández-Abedul M. T.: *Microchim. Acta* 188, 302 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00604-021-04946-3>.
- Tali S. H.S., Saebi R., Miaz F., Sadiq Z., Goulet M.-A., Jahanshai-Anbui S.: *Electrochim. Acta* 548, 147931 (2026). <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2025.147931>.

J. Barek (*Charles University, Faculty of Science, Department of Analytical Chemistry, UNESCO Laboratory of Environmental Electrochemistry, Prague, Czech Republic*): **Paper-Based Analytical Devices from the Point of View of Long-Term Cooperation between Charles University in Prague and the National and Kapodistrian University of Athens**

The article briefly summarizes possibilities and limitations of μ PADs (microfluidic paper-based analytical devices). It was inspired by the distinguished lecture given by Prof. Economou from the Laboratory of Analytical Chemistry, Department of Chemistry, National and Kapodistrian University of Athens (the oldest Greek university) at the Department of Analytical Chemistry, Faculty of Science, Charles University (the oldest Czech university) in Prague. This lecture was organized as a part of a long-term cooperation of Prof. Economou's laboratory in Athens with the UNESCO Laboratory of Environmental Electrochemistry in Prague in the

framework of the Erasmus+ Programme. More than 15 papers with over 200 references (according to WOS) resulted from this fruitful cooperation. After a short historical introduction, attention is focused on the perspectives of further development of modern electroanalytical chemistry; emphasis is placed on further development of useful and mutually beneficial cooperation between the oldest Greek and Czech universities in the field of electroanalytical chemistry both in research and education.

Full text English translation is available in the on-line version.

Keywords: microfluidic paper-based analytical devices, electroanalytical chemistry, voltammetry of biologically active compounds, new electrode materials and arrangements

Acknowledgement

It is the author's pleasant duty to thank all colleagues from our department who contributed to the development of this useful cooperation, namely Prof. RNDr. Jiří Zima, CSc., Prof. RNDr. Vlastimil Vyskočil, Ph.D., Prof. RNDr. Zuzana Bosáková, CSc., and Assoc. Prof. RNDr. Karel Nesměrák, Ph.D., and to Mgr. Pavla Pousková (Head of Foreign Affairs Department). I would also like to thank the company Metrohm CZ (https://www.metrohm.com/cs_cz.html) for effective intellectual, material, and moral support of all described activities.



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.